

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

*Мигущенко Р.П.*, доктор технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

*Щапов П.Ф.*, доктор технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

*Тверитникова Е.Е.*, кандидат исторических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

## STATISTICAL MODELS OF MULTIDIMENSIONAL OBJECTS OF PARAMETRIC CONTROL

*Myguschenko R.P.*, Doctor of Technical Sciences, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

*Shchapov P.F.*, Doctor of Technical Sciences, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

*Tveritnikova E.E.*, Candidate of Historical Sciences, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine

## СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ БАГАТОВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ ПАРАМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ

*Мигущенко Р.П.*, доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

*Щапов П.Ф.*, доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

*Тверитникова О.Є.*, кандидат історичних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

**Постановка проблемы.** Реализация требований обеспечения заданной полноты информации в системах контроля наталкивается на трудности принципиального характера:

- контролируемые физические характеристики (параметры контроля) могут быть настолько сложными, что для них отсутствуют даже стандартные образцы;

- уровни измеряемых непосредственно контролируемых физических величин привязаны к априорно неопределенным состояниям физического объекта измерительного контроля и не могут быть воспроизведены однозначно для любого из фиксированных состояний.

Физическая сложность параметров контроля может быть обусловлена требованиями их максимальной информативности в отношении качественных изменений объекта контроля и такие параметры, чаще всего, являются комплексными физическими величинами, недоступными прямым измерениям. Что же касается контролируемых величин (или информационных признаков), то для промышленных объектов контроля (технологические линии, промышленное оборудование, механические системы и т.д.) эти показатели представляют собой случайные процессы с разными типами нестационарности.

В любом случае, речь идет об объектах контроля, для которых число информационных признаков теоретически стремится к бесконечности, а уровни конечного числа параметров контроля не могут быть воспроизведены с метрологической точностью для любого из нормативных состояний объекта контроля.

Сокращение числа параметров контроля из-за невозможности обеспечения точности измерений их уровней приводит к потере значительной части информации. Это выражается в том, что параметры – не информативные в одном, например, нормальном состоянии объекта контроля, приобретают особое значение в других состояниях. Возникла необходимость планирования этапов сбора и переработки первичной информации со сложными взаимосвязями, отражающими структуру объекта контроля на уровне усложненных математических моделей преобразования информации.

Такие модели могут служить основой нормативного подхода при оценке качественного состояния объекта контроля как объекта многофакторного, для которого любой измерительный эксперимент должен включать математические методы планирования в условиях неконтролируемых факторных влияний (или неоднородностей), искажающих результаты такого эксперимента.

#### **Анализ последних достижений и публикаций.**

Рассматривая проблему выбора адекватных преобразований первичной информации к проблеме построения адекватных моделей принятия решений при контроле и диагностике, следует подчеркнуть, что эта проблема возникает, когда объемы обучающих выборок, используемых для параметрического синтеза моделей преобразования – существенно ограничены (этап обучения системы контроля). К сожалению, эта проблема теоретически изучена лишь в рамках вероятностных моделей оптимального синтеза информационных систем [1, 2], метрологического обеспечения систем контроля и диагностики [3], информационно-измерительных технологий неразрушающего контроля [3, 4], оптимального синтеза распознающих систем [5, 6]. Более полные вероятностно-статистические модели объектов контроля – отсутствуют, что не позволяет, при ограниченных обучающих выборках, планировать процессы получения информации о свойствах параметра контроля по значениям вектора контролируемых величин.

#### **Цель статьи.**

Дать анализ вероятностной структуры объекта контроля с учетом неопределённости его свойств на этапах как обучения, так и принятия статистических решений.

#### **Модель объекта контроля на этапе обучения.**

Под объектом контроля будем понимать материальный (физический) объект, обладающий многочисленными особенностями (физическими свойствами), которые находятся в многосторонних и сложных взаимосвязях, причем одно или несколько из этих свойств могут быть измерены.

Под моделью объекта контроля будем понимать математическое описание, отражающее как особенности объекта, так и неопределенность оценки его качественного состояния, по результатам измерения контролируемых величин, характеризующих отдельные свойства объекта.

Такая модель должна обеспечивать максимально возможную величину первичной информации применительно к двум задачам, решаемым в ходе создания системы контроля:

1. Анализ вероятностной структуры объекта контроля (этап обучения).
2. Синтез оптимальной, по максимуму достоверности принятия решений, системы многопараметрического контроля (этап контроля и диагностики).

Каждая из задач может быть реализована в рамках своего варианта модели (1.8) контролируемых величин.

Физический объект контроля представлен множеством  $\pi = \{\pi_1, \dots, \pi_k\}$  своих состояний (уровней параметра  $Y$ ), по каждому из которых имеется  $n_j, j = \overline{1, k}$ , выборки для вектора  $\overline{X}$ .

Общее число представленных для анализа значений вектора  $\overline{X}$  равно  $N = \sum_{j=1}^k n_j$ .

Технические средства контроля осуществляют прямые измерения величин  $X_1, \dots, X_n$ , представляя значения этих величин в форме точечных оценок  $\overline{X}^*$  вектора  $\overline{X}$ . По результатам многократных  $N$  измерений осуществляют многомерный статистический анализ выборочных значений вектора  $\overline{X}$ , позволяющий:

- a) выбрать модель условной  $n$ -мерной плотности распределения  $f(\overline{X}/Y)$  вектора  $\overline{X}$ ;
- b) ранжировать составляющие вектора контролируемых величин  $\overline{X}$  по информативности относительно изменений уровней  $y_1, \dots, y_k$  параметра  $Y$ ;
- c) минимизировать количество составляющих вектора  $\overline{X}$  при сохранении максимальной величины ожидаемой информации о значениях уровней  $y_1, \dots, y_k$  параметра контроля  $Y$ , при минимуме неопределенности результатов измерения.

Перечисленные задачи могут быть решены в рамках многофакторного дисперсионного анализа [7] результатов многократных измерений составляющих  $X_1, \dots, X_n$  при условиях  $Y \in y_j, j = \overline{1, k}$  и

априорном предположении о невырожденном нормальном распределении вектора показателей контроля  $\bar{X}$  для всех  $y_j$ .

Такой анализ позволяет представить результат измерения любого из  $k$  показателей  $X_1, \dots, X_n$  в виде линейной комбинации с  $n$  влияющими факторами (фактор  $Y$  и  $(n-1)$  факторов, которыми являются оставшиеся показатели контроля):

$$X_i = z_1 \beta_{1i} + \dots + z_n \beta_{ni} + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где  $\beta_{1i}, \dots, \beta_{ni}$  – известные постоянные коэффициенты,  $i = \overline{1, N}$ ,  $z_1, \dots, z_n$  – переменные, зависящие от соответствующих влияющих факторов.

Вид дисперсионного анализа результатов измерений зависит от выбора коэффициентов  $\beta_{ji}$ ,  $j = \overline{1, n}$  и определяет конкретную математическую модель объекта измерения.

1. Модель многофакторной перекрестной классификации (параметрическая или компонент дисперсий) – если  $\beta_{ji}$  могут принимать только значение 0 или 1.

2. Модель множественной регрессии – если  $\beta_{ji} \in [-\infty, \infty]$  для всех  $j = \overline{1, k}$  и  $i = \overline{1, n}$ .

3. Ковариационная модель – если часть коэффициентов  $\beta_{ji}$  может принимать значение только 0 или 1, а остальная часть – любые значения на интервале  $[-\infty, \infty]$ .

На рис. 1 представлена структурная схема процесса обработки результатов  $N$ -кратных измерений составляющих вектора  $\bar{X}$  для  $K$  состояний (например, уровней параметра контроля  $Y$ ) физического объекта контроля.



Рисунок 1 – Структурная схема процесса обработки результатов многократных измерений на этапе анализа обучающих выборок

В отношении случайного остатка  $\varepsilon_i$  модели (1) следует отметить, что его дисперсия  $\sigma_\varepsilon$  является мерой остаточной энтропии значений  $X_i$  после измерения [8] и выбор модели контролируемой величины должен быть таким, чтобы эта дисперсия была минимальной.

**Модель объекта контроля на этапе принятия решений.**

Синтез системы принятия решений для этапа контроля предусматривает решение следующих задач.

1. Выбор модели дискриминации результатов однократных измерений составляющих нового вектора  $\bar{X}$  с целью отнесения этого вектора к одному из  $K$  кластеров (или классов)  $\bar{X}^{(j)}$ ,  $j = \overline{1, K}$ , определяющих уровень  $y_j$  параметра контроля

$$\forall \bar{X} \left[ \bar{X} \in \bar{X}^{(j)} \rightarrow \bar{X} \in y_j \right].$$

2. Выбор оптимального, по максимуму ожидаемой информации, числа кластеров  $\mu$  и числа уровней  $y_j$  при фиксированных для всех  $j \in (2, K)$  остаточных дисперсий  $\sigma_\varepsilon$  модели (1)  $2 \leq \mu \leq K$ .

### 3. Оценка достоверности результатов дискриминации.

Модель дискриминации должна обладать определенной робастностью (нечувствительностью) к нарушению априорных предположений о нормальности законов распределения составляющих вектора  $\bar{X}$ , а коэффициенты модели должны однозначно определяться на этапе обучения, включая дисперсионный анализ результатов  $N$ -кратных измерений.

Поскольку максимум ожидаемой информации об уровне  $y_j$  параметра  $Y$  соответствует максимуму его функции правдоподобия  $L_j(\bar{X}^{(j)})$ , то выбор кластера  $\bar{X}^{(j)}$  осуществляют из условия

$$\bar{X}^* \in \bar{X}^{(j)}, \text{ если } L_j(\bar{X}^*) = \sup \left[ L(\bar{X}^*) \right],$$

$$\text{где } L(\bar{X}^*) = \left\{ L_1(\bar{X}^*), L_n(\bar{X}^*) \right\}.$$

На рис. 2 представлена структурная схема обработки результатов однократных измерений на этапе контроля.

Поскольку  $y_j^* \in \{y_1, \dots, y_n\}$ , то формально, абсолютная погрешность измерения определяется выражением [1, 4]

$$\Delta = y_j^* - y_j$$

и может рассматриваться как дискретная случайная величина, для которой

$$P(\Delta \neq 0) = P(y_j^* \neq y_j / y_j) = \alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – вероятность ошибки дискриминации первого рода.



Рисунок. 2 – Структурная схема обработки результатов однократных измерений на этапе измерительного контроля

Из (2) следует, что погрешность измерения  $\Delta$  определяет достоверность контроля (через вероятность ошибки  $\alpha$ ). Таким образом, использование процедур принятия решений об уровне параметра контроля, не поддающегося прямым, метрологически обоснованным измерениям, может рассматриваться как метод непрямого (косвенного) измерения. Реализация этого метода может осуществляться в рамках вычислительных процедур обучения и дискриминации на базе многомерной вероятностной модели для системы случайных величин  $(Y, X_1, \dots, X_n)$ .

### Выводы.

1. Получены структурные и статистические модели многомерных контролируемых величин для этапов обучения и штатного функционирования информационных систем контроля.

2. Определены условия минимизации неопределённости результатов измерений и ошибок контроля, повышающие объём информации по контролируемым параметрам.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Терентьев С.Н. Оптимизация систем цифровой передачи измерительных сигналов: [учеб. пособие] / С.Н. Терентьев, А.Б. Глухов, Л.В. Константинова. – Харьков : НТУ «ХПИ». 2002. – 268 с.
2. Жураковский Ю.П. Теория информации та керування / Ю.П. Жураковский, В.П. Полторак. – Київ. Вища школа, 2001. – 255 с.
3. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. посіб. / С.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б. Сердюк. – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с.
4. Малайчук В.П. Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю: [навч. посіб.] / В.П. Малайчук, О.В. Мозговой, О.М. Петренко. – Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2001. – 240 с.
5. Миленький А.В. Классификация сигналов в условиях неопределенности (статистические методы самообучения в распознавании образов) / А.В. Миленький. – М. : Сов. Радио, 1985. – 329 с.
6. Щапов П.Ф. Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях неопределенности: монография / П.Ф. Щапов, О.Г. Аврунин. – Харьков : ХНАДУ, 2011. – 191 с.
7. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф.Лион, пер. с англ. под ред. Э.К. Лецкого. – М. : Мир, 1981. – 520 с.
8. Теоретичні та практичні засади систем контролю та діагностування складних промислових об'єктів: монографія / П.Ф. Щапов, Р.П. Мигушенко, О.Ю. Кропачек. – Харків. : Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ»», 2015. – 244 с.

## REFERENCES

1. Terent'ev S.N. Optymyzyatsyya system tsyvrovoy peredachy yzmyrytel'nykh syhnalov: [ucheb. posobyel] / S.N. Terent'ev, A.B. Hlukhov, L.V. Konstantynova. – Khar'kov : NTU «KhPY», 2002. – 268 s. (Rus)
2. Zhurakovs'ky Yu.P. Teoriya informatsiyi ta keruvannya / Yu.P. Zhurakovs'ky, V.P. Poltorak. – Kyiv: Vyshcha shkola, 2001. – 255 s. (Ukr)
3. Metrolohichne zabezpechennya vymiryuvan' i kontrolyu: navch. posib. / Ye.T. Volodars'ky, V.V. Kukhar'chuk, V.O. Podzharenko, H.B. Serdyuk. – Vinnytsya : Veles, 2001. – 219 s. (Ukr)
4. Malaychuk V.P. Informatsiyno-vymiryuval'ni tekhnolohiyi neruynivnoho kontrolyu: [navch. posib.] / V.P. Malaychuk, O.V. Moz'hovoy, O.M. Petrenko. – Dnipropetrovs'k : RVV DNU, 2001. – 240 s. (Ukr)
5. Mylen'ky A.V. Klassyfykatsyya syhnalov v uslovyyakh neopredelennosti (statystycheskiye metody samoobucheniya v raspoznavanyy obrazov) / A.V. Mylen'ky. – M. : Sov. Radyo, 1985. – 329 s. (Rus)
6. Shchapov P.F. Povysheniye dostovernosti kontrolya y dyahnostyky ob'yektov v uslovyyakh neopredelennosti: monohrafiya / P.F. Shchapov, O.H. Avrunyn. – Khar'kov : KhNADU, 2011. – 191 s. (Rus)
7. Dzhonson N. Statystyka y planyrovanye eksperymenta v tekhnike y nauke: Metody planirovaniya eksperymenta / N. Dzhonson, F.Lyon; per. s anhl. pod red. Э.К. Letskoho. – M. : Myr, 1981. – 520 s. (Rus)
8. Teoretychni ta praktychni zasady system kontrolyu ta diahnostuvannya skladnykh promyslovykh ob'yektiv: monohrafiya / P.F. Shchapov, R.P. Mihushchenko, O.Yu. Kropachek. – Kharkiv. : Vyd-vo «Pidruchnyk NTU «KhPI»», 2015. – 244 s. (Ukr)

## РЕФЕРАТ

Мигушенко Р.П. Статистические модели многомерных объектов параметрического контроля / Р.П. Мигушенко, П.Ф. Щапов, Е.Е. Тверитникова // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 1 (34).

В статье показано одно из возможных решений проблемы выбора адекватных преобразований первичной информации к проблеме построения адекватных моделей принятия решений при контроле и диагностике. Реализация требований обеспечения заданной полноты информации в системах контроля наталкивается на трудности принципиального характера: контролируемые физические

характеристики (параметры контроля) могут быть настолько сложными, что для них отсутствуют даже стандартные образцы; уровни измеряемых непосредственно контролируемых физических величин привязаны к априорно неопределённым состояниям физического объекта измерительного контроля и не могут быть воспроизведены однозначно для любого из фиксированных состояний.

Сокращение числа параметров контроля приводит к потере значительной части информации из-за невозможности обеспечения точности измерений их уровней. Это выражается в том, что параметры – не информативные в одном, например, нормальном состоянии объекта контроля, приобретают особое значение в других состояниях. Возникла необходимость планирования этапов сбора и переработки первичной информации со сложными взаимосвязями, отражающими структуру объекта контроля на уровне усложнённых математических моделей преобразования информации.

Такие модели могут служить основой нормативного подхода при оценке качественного состояния объекта контроля как объекта многофакторного, для которого любой измерительный эксперимент должен включать математические методы планирования в условиях неконтролируемых факторных влияний (или неоднородностей), искажающих результаты такого эксперимента.

Объект исследования – материальный (физический) объект, обладающий многочисленными особенностями (физическими свойствами), которые находятся в многосторонних и сложных взаимосвязях.

Цель статьи – анализ вероятностной структуры объекта контроля с учетом неопределённости его свойств на этапах, как обучения, так и принятия статистических решений.

Методы исследования – методами теоретических исследований есть как классические, так и принципиально новые современные методы теории вероятности, случайных процессов, многомерного статистического анализа, информационной теории измерений и контроля.

В результате получены структурные и статистические модели многомерных контролируемых величин для этапов обучения и штатного функционирования информационных систем контроля и определены условия минимизации неопределённости результатов измерений и ошибок контроля, повышающие объём информации по контролируемым параметрам.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** МНОГОМЕРНЫЕ ОБЪЕКТЫ, КОНТРОЛЬ, СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

#### ABSTRACT

Myguschenko R.P., Shchapov P.F., Tveritnikova E.E. Statistical Models of Multidimensional Objects of Parametric Control. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2016. – Issue 1 (34).

The article presents one of the possible solving of the problem of appropriate conversion choosing of primary information to the problem of constructing appropriate decision-making models for monitoring and diagnosis. The implementation of the requirements for ensuring completeness of the information given in the monitoring systems encounters with difficulties of a fundamental character: controlled physical characteristics (control parameters) can be so complex that they cannot have even standard samples; levels of measured directly controlled physical quantities are tied to a priori uncertain states of the physical object of measurement control and cannot be reproduced clearly for any fixed states.

Reducing the number of control parameters from the inability to ensure the accurate of measurement of their levels causes to a loss of significant information. This is reflected in the fact that the options are no informative in one, for example, under the normal state of the control object they are especially important in other states. There was a need to plan the stages of collection and processing of primary data with complex relations that reflect the structure of the control object at the level of complicated mathematical models of information transfer.

Such models can be the basis of the normative approach in assessing the quality of object control state as an object of multifactor for which any measurement experiment should include mathematical methods of planning for uncontrollable factor influences (or irregularities), distorting the results of this experiment.

The objective of study is the material (physical) object that has numerous features (physical properties), which are in multilateral and complex relations.

Purpose of the article - a probabilistic analysis of the structure of a control object with the uncertainty of its properties on the stages, both training and statistical decisions making

Research methods are the methods of theoretical researches and completely new modern methods of probability theory, stochastic processes, multidimensional statistical analysis, information theory of measurement and control.

As a result, we have obtained the structural and statistical models of multidimensional and controlled values for training stages of normal operation for information systems and we have defined the conditions to minimize the uncertainty of measurement results and error control, increasing the amount of information on controlled parameters.

KEY WORDS: MULTIDIMENSIONAL OBJECTS, CONTROL, STATISTICAL MODELING.

### РЕФЕРАТ

Мигушенко Р.П. Статистичні моделі багатовимірних об'єктів параметричного контролю / Р.П. Мигушенко, П.Ф. Щапов, О.Є. Тверитникова // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 1 (34).

У статті показано одне з можливих рішень проблеми вибору адекватних перетворень первинної інформації до проблеми побудови адекватних моделей прийняття рішень при контролі та діагностиці. Реалізація вимог забезпечення заданої повноти інформації в системах контролю нагтовхується на труднощі принципового характеру: контрольовані фізичні характеристики (параметри контролю) можуть бути настільки складними, що для них відсутні навіть стандартні зразки; рівні вимірюваних безпосередньо контрольованих фізичних величин прив'язані до апріорно невизначеним станам фізичного об'єкта вимірювального контролю і не можуть бути відтворені однозначно для будь-якого з фіксованих станів.

Скорочення числа параметрів контролю призводить до втрати значної частини інформації через неможливість забезпечення точності вимірювань їх рівнів. Це виражається в тому, що параметри - неінформативні в одному, наприклад, нормальному стані об'єкта контролю, набувають особливого значення в інших станах. Виникла необхідність планування етапів збору та переробки первинної інформації зі складними взаємозв'язками, що відображають структуру об'єкта контролю на рівні ускладнених математичних моделей перетворення інформації.

Такі моделі можуть служити основою нормативного підходу при оцінці якісного стану об'єкта контролю як об'єкта багатofакторного, для якого будь вимірювальний експеримент повинен включати математичні методи планування в умовах неконтрольованих факторних впливів (або неоднорідностей), що спотворюють результати такого експерименту.

Об'єкт дослідження - матеріальний (фізичний) об'єкт, що володіє численними особливостями (фізичними властивостями), які знаходяться в багатосторонніх і складних взаємозв'язках.

Мета статті - аналіз ймовірнісної структури об'єкта контролю з урахуванням невизначеності його властивостей на етапах, як навчання, так і прийняття статистичних рішень.

Методи дослідження - методами теоретичних досліджень є як класичні, так і принципово нові сучасні методи теорії ймовірності, випадкових процесів, багатовимірного статистичного аналізу, інформаційної теорії вимірювань і контролю.

У результаті отримані структурні та статистичні моделі багатовимірних контрольованих величин для етапів навчання і штатного функціонування інформаційних систем контролю та визначено умови мінімізації невизначеності результатів вимірювань і помилок контролю, що підвищують обсяг інформації по контрольованих параметрах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БАГАТОВИМІРНІ ОБ'ЄКТИ, КОНТРОЛЬ, СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.

### АВТОРИ:

Мигушенко Руслан Павлович, доктор технічних наук, доцент, проректор з науково-педагогічної роботи, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: mrp1@bk.ru, +380577076116, Україна, 61002. м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Шапов Павло Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології і системи», +380577076015, Україна, 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Тверитникова Олена Євгенівна, кандидат історичних наук, доцент, заступник декана з навчальної роботи, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: tveritnikovaelena@rambler.ru, професор кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології і системи», +380958832262, Україна, 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

#### **AUTHORS:**

Myguschenko R.P., Doctor of technical sciences, associate professor, The First Vice Rector scientific and pedagogical work, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», e-mail: mrp1@bk.ru, +380577076116, Ukraine, 61002, Kharkov, st. Frunze, 21.

Shchapov P.F., Doctor of technical sciences, professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», professor of the Department «Information and measuring technologies and systems», +380577076015, Ukraine, 61002, Kharkov, st. Frunze, 21.

Tveritnikova E.E., Candidate of Historical Sciences, associate professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», professor of the Department «Information and measuring technologies and systems», e-mail: tveritnikovaelena@rambler.ru, +380958832262, Ukraine, 61002, Kharkov, st. Frunze, 21.

#### **АВТОРЫ:**

Мигушенко Руслан Павлович, доктор технических наук, профессор, проректор по научно-педагогической работе, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», e-mail: mrp1@bk.ru, +380577076116, Украина, 61002, м. Харьков, ул. Фрунзе, 21.

Шапов Павел Федорович, доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры «Информационно-измерительные технологии и системы», +380577076015, Украина, 61002, м. Харьков, ул. Фрунзе, 21.

Тверитникова Елена Евгеньевна, кандидат исторических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры «Информационно-измерительные технологии и системы», e-mail: tveritnikovaelena@rambler.ru, +380958832262, Украина, 61002, м. Харьков, ул. Фрунзе, 21.

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Качанов П.О., доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Автоматика та управління в технічних системах», Харків, Україна.

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», Київ, Україна

#### **REVIEWER:**

Kachanov P.O, Doctor of Technical Sciences, professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Head of Department «Automation and control in technical systems», Kharkov, Ukraine

Posviatenko E.K., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, professor, department of production, repair and materials science, Kyiv, Ukraine.



**Наукове видання**

**ВІСНИК**

**Національного транспортного університету**

**Науково-технічний збірник**

**Випуск 1 (34), 2016**

**Серія «Технічні науки»**

Головний редактор: *Дмитриченко М.Ф.*

Відповідальний секретар редколегії: *Мельниченко О.І.*

Комп'ютерна верстка: *Харченко Т.О.*

Дизайн обкладинки: *Земба О.І.*

*За стилістику і орфографію статей збірника несуть відповідальність автори.*

**Засновник та видавець:**

Національний транспортний університет,  
01010 м. Київ, вул. Суворова, 1, тел.: +38 (044) 280 0149,  
[http://www.ntu.kar.net/ukraine/nauka/visnyk\\_ntu.htm](http://www.ntu.kar.net/ukraine/nauka/visnyk_ntu.htm)  
e-mail: [visnik.ntu@gmail.com](mailto:visnik.ntu@gmail.com)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №1218 від 30.01.2003 р.

**Виготовлювач**

Національний транспортний університет, редакційно-видавничий відділ  
01103, Україна, м. Київ, вул. Кіквідзе, 39, тел.: +38 (044) 284 2626, e-mail: [nturv@gmail.com](mailto:nturv@gmail.com)

Підписано до друку 24.02.2016 р. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Папір офс. Гарнітура Times New Roman. Друк ризогр.  
Вк. 2. Наклад 150. Зам. 4410.